

*Проведено системний аналіз процесу екструзії полімерних матеріалів, з якого зрозуміло складність ведення цього процесу. Розроблено структурні схеми задач системи керування та шляхів їх розв'язку для режимів розігріву, пуску та нормальної експлуатації. Запропоновано алгоритм системного аналізу складних технологічних систем як об'єктів автоматичного керування на прикладі процесу екструзії полімерів*

*Ключові слова: екструдер, полімер, системний аналіз, декомпозиція, задачі керування*

*Проведен системный анализ процесса экструзии полимерных материалов, из которого видна сложность ведения этого процесса. Разработаны структурные схемы задач системы управления и путей их решения для режимов разогрева, пуска и нормальной эксплуатации. Предложен алгоритм системного анализа сложных технологических систем как объектов автоматического управления на примере процесса экструзии полимеров*

*Ключевые слова: экструдер, полимер, системный анализ, декомпозиция, задачи управления*

# СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЕКСТРУЗІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАДАЧ ТА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

**Л. Д. Ярошук**

Кандидат технічних наук, доцент\*

**О. А. Жученко**

Асистент\*

\*Кафедра автоматизації хімічних виробництв  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»  
пр. Перемоги, 37, корп. 19, м. Київ, Україна,  
03056

## 1. Вступ

Екструдери є одним із найпоширеніших видів устаткування, що використовується в галузях виробництва і переробки полімерів та композиційних матеріалів на їх основі.

Екструзійним методом виготовляють широкий асортимент товарів: труби, плівку, листи, профільні вироби, наносять ізоляцію на кабелі. У гумовій промисловості екструдери застосовують для пластикації каучуку, фільтрації та грануляції гумових сумішей, девулканізації гуми, зневоднення регенерату тощо.

Створення комп'ютерно-інтегрованих технологічних комплексів (КІТК) надає додаткові можливості у реалізації більш ефективних алгоритмів та систем керування, зокрема, при зміні сировини чи переведенні обладнання на іншу продукцію. Розробці КІТК повинно передувати всебічне дослідження технології, економічних та екологічних вимог до виробництва, яке буде ефективним тільки завдяки застосуванню системного аналізу.

На жаль, методам формалізації таких досліджень для екструзійної переробки матеріалів належної уваги не приділено.

## 2. Постановка задачі

Метою роботи є визначення ієрархії задач комп'ютерно-інтегрованого комплексу з екструзійної пере-

робки сировини, загальної структури системи управління та кола математичних моделей.

## 3. Алгоритм системного аналізу складних технологічних систем для створення системи керування

Для формалізації дій при дослідженні технологічної системи, як складного об'єкта керування автори розробили алгоритм, схема якого наведена на рис. 1.

За рахунок декомпозиції досліджуваної системи він дасть можливість врахувати особливості її складових і з'ясувати задачі керування ними за різних умов. Наступний синтез дозволить врахувати існуючі в системі зв'язки і узгодити окремі задачі з головною – для всієї системи управління.

Автори розробили алгоритм формалізації дослідження технологічних систем для створення систем управління ними. Схема цього алгоритму наведена на рис. 1.

Алгоритмом передбачено визначення задач, які формулюються для виробничої системи в цілому – завдання по продуктивності та якості продукції, по економічній ефективності, по соціальним і екологічним характеристикам.

Ці задачі вищого рівня системи керування повинні бути виконані обов'язково.

Розглянемо окремі результати застосування даного алгоритму до процесу переробки пластмас у черв'ячному екструдері.

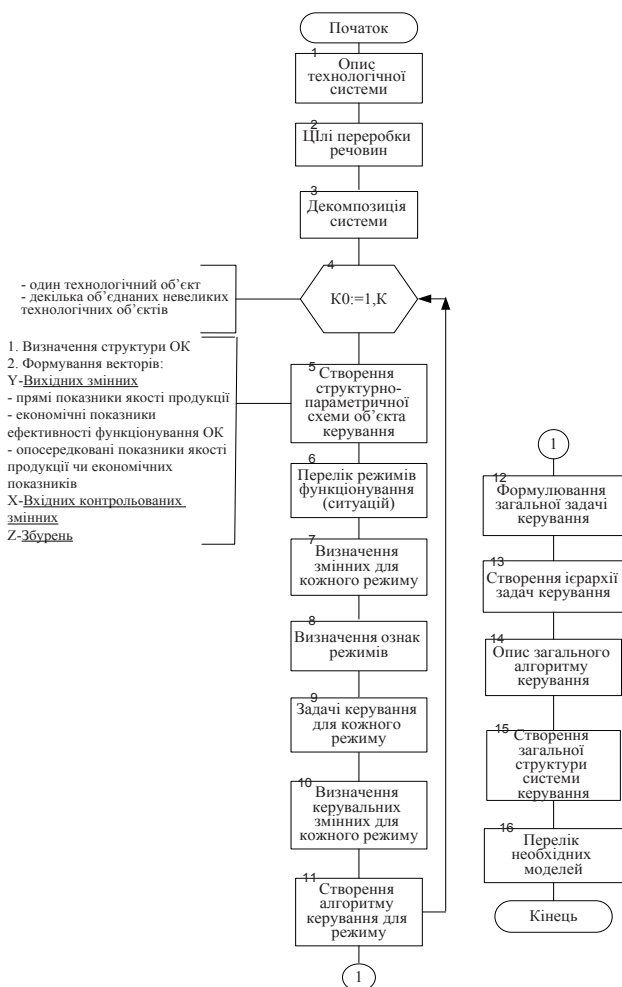


Рис. 1. Схема алгоритму формалізації дослідження технологічних систем

#### 4. Дослідження процесу екструзії як об'єкта керування

Технологічною системою у нашому випадку є сукупність процесів, які дозволяють перетворити гранули пластмаси у виріб певної форми [2].

Головною задачею при створенні пластмасових виробів може бути мінімізація витрат на виготовлення одиниці готовою продукції, Корт при виконанні вимог до її якості. Під готовою продукцією розумітимемо ту, яка відповідає встановленим вимогам і розглядається як товар. Показниками кількості продукції для задачі оптимізації можуть виступати одиниці маси, довжини, кількість штук тощо.

Виконаємо декомпозицію технологічної системи, прослідковуючи просування речовини, яку перероблюють. До розгляду вибрані наступні технологічні об'єкти керування (ТОК): завантажувальний пристрій, корпус екструдера, шнек, формуюча головка, нагрівальні, охолоджувальні та тягові пристрої.

Гранульований матеріал надходить до екструдера через *завантажувальний пристрій* (ЗП) з воронкою. Вхідними змінними для цього ТОК є гранулометричний склад (ГС) матеріалу та його витрата. Вони є збуренням для системи. Вихідними змінними виступають рівень гранул у воронці і витрата матеріалу після неї.

При різному гранулометричному складі може відбуватися коливання рівня у завантажувальній воронці екструдера. Рівень дає можливість опосередковано оцінювати витрату матеріалу, який подають в екструдер.

Велика витрата при засипанні призводить до забивання завантажувальної воронки, маленька – до холостого ходу шнеку, а зрештою до аварійної ситуації. Задачею керування цією підсистемою є підтримування сталої витрати гранул пластмаси. Керувальною змінною виступає витрата гранул, які завантажують у бункер.

*Корпус* і *шнек* взаємодіють через матеріал. Спільними вхідними змінними для процесів у сукупності об'єктів «корпус – матеріал – шнек» (КМШ) є хімічний і гранулометричний склад матеріалу, його температура, вологість та витрата.

Хімічний склад гранул впливає на перебіг пластифікації. Вода відіграє роль каталізатора термодеструкції (руйнування при нагріванні), змінює в'язкість, прозорість та міцність розплаву, усадку виробів. Підвищення вологості сприяє виділенню отруйних речовин: формальдегідів, кислот тощо.

Зазначені входи автоматично не вимірюють, тому віднесемо їх до збурень. Вхідними змінними для корпусу є кількість теплоти, яка надходить від нагрівачів.

Вихідною змінною об'єктів КМШ є ступінь однорідності властивостей матеріалу у вертикальних перерізах впродовж корпусу, а особливо перед формуючою головкою. Однорідність може бути досягнута шляхом змін температури пластмаси та інтенсивності її перемішування. Контрольованою та керувальною змінною для процесу перемішування з боку шнеку є швидкість його обертання. Ця змінна впливає на процес комплексно, змінюючи одночасно витрату матеріалу. Контрольованою вхідною змінною для шнеку може бути також крутильний момент.

При русі пластмаси вздовж корпусу спостерігається тертя між матеріалом та корпусом, матеріалом та шнеком, а також між шарами матеріалу. Необхідно, щоб тертя між матеріалом та поверхнею черв'ячного шнека було меншим, ніж тертя між матеріалом і внутрішньою поверхнею корпусу. Якщо це не забезпечувати, то пластмаса буде обертатися разом зі шнеком, не просуваючись в осьовому напрямку. Коефіцієнти тертя впливають на ступінь однорідності матеріалу і залежать від стану поверхонь пристроїв та їхньої температури. Керувальні впливи на процес тертя пластмаси об пристрої обладнання визначаються способами підведення тепла до матеріалу та його відведення. У кінці корпусу для додаткової гомогенізації розплаву передбачають деякі здвигові та перемішуючі елементи.

Механічні перетворення матеріалу призводять до хімічних перетворень – з'являються газові утворення, які погіршують властивості продукції і можуть призвести до отруєння персоналу. Тому до задач керування додамо дегазацію матеріалу.

Вхідними змінними для самого корпусу, як ТОК, є кількість теплової енергії від нагрівача та швидкість тепловідведення від зовнішньої поверхні при охолодженні.

Оскільки корпус має конструктивні відмінності на початку і у кінці, а матеріал не має сталих властиво-

стей від місця його уведення і до місця виведення, то розподіленістю характеризується і сукупність «корпус – матеріал – шнек». Ця властивість викликає відмінність задач керування для різних ділянок сукупності (тому введено поняття зон екструдера, наприклад, завантажування, плавлення, нагнітання тощо).

Пристрої нагрівання використовують для підтримки необхідної температури матеріалу. Корпус екструдера повинен нагріватися, а шнек охолоджуватися з метою створення різних коефіцієнтів тертя. Тут також спостерігається сукупність ТОК, зокрема, така: «нагрівач-корпус-матеріал» (НКМ). За рахунок підведення теплоти від нагрівача матеріал при просуванні шнеком плавиться, стискається та перетворюється поступово у розплавлену масу, яка потім видавлюється через формуючу головку.

Найчастіше обігрів корпусу відбувається дискретно, тобто впродовж корпусу встановлюють декілька нагрівачів. У кожній зоні відбувається певний етап перетворення пластмаси в однорідний матеріал. Збуреннями для процесу теплопередачі в кожній зоні є хімічний та гранулометричний склади матеріалу, його витрата, температури матеріалу попередньої стадії переробки, зовнішньої поверхні шнеку та внутрішньої поверхні корпусу. Останній показник, однак, при необхідності може бути досить точно визначений аналітично за температурою зовнішньої стінки корпусу.

Якщо використовують електронагрівачі, то в залежності від їхнього типу, до керувальних змінних можуть бути віднесені потужність, сила, напруга чи частота струму. Вихідними змінними є температури матеріалу впродовж корпусу (у зонах), які розглядатимемо, як складові температурного поля.

За охолоджувальні пристрої використовують пристрої водопостачання та вентилятори. При застосуванні води керувальною змінною процесу охолодження є її витрата. При повітряному охолодженні – це кількість обертів двигуна вентилятора. Збуреннями у системах охолодження є температури теплоносіїв.

Формуюча головка – кінцевий елемент конструкції черв'ячного екструдера, через неї видавлюють розплавлений матеріал, надаючи йому заданої форми. У зоні головки теж встановлюють пристрій нагрівання, тому її можна в цьому сенсі уподобити тепловій зоні корпусу екструдера. Процес видавлювання вимагає певного тиску у матеріалі перед формуючою головкою, тому керувальною змінною процесу видавлювання є кількість обертів шнека, яка повинна бути синхронізована з характеристиками двигунів тягових пристроїв. Збуреннями виступають ступінь однорідності матеріалу, його в'язкість, витрата та температура.

Тягові пристрої призначені для відбору виробу, що видавлюють через головку екструдера, з деякою

лінійною швидкістю. Задачею керування цим об'єктом є стабілізація робочої швидкості тягових пристроїв. Силу тяги треба узгоджувати з кількістю обертів шнека та з роботою приймальних пристроїв.

Результат аналізу підсистем процесу екструзії показує, що наявність збурень, які суттєво впливають на властивості окремих ТОК, вказує на нестаціонарність процесів, які в них відбуваються.

## 5. Системний аналіз режимів функціонування екструдера

Повний цикл процесу екструзії розділяють на 4 етапи (режими): розігрів екструдера; пуск (підготовка до нормального, тобто робочого функціонування); нормальне функціонування; завершення процесу екструзії перед зупинкою обладнання.

**Розігрів екструдера.** Початкове завантаження полімеру повинно відбуватися у розігрітій обладнання. При недостатній температурі корпусу вихідний продукт матиме низьку міцність з тьмяною і темною поверхнею.

Розігрів екструдера виконують повільно, на протязі 2 – 3 годин (в залежності від розмірів апарату) до температури, що на 20 – 30°C нижча робочої для певного матеріалу. Потім температуру доводять до робочої і підтримують її на протязі 30-60 хвилин. Таке тривале нагрівання забезпечує однакову температуру корпусу і шнеку, що є основною задачею управління.

Структурна схема задач системи керування та шляхів їх розв'язку для з режиму розігріву екструдера наведена на рис. 2.

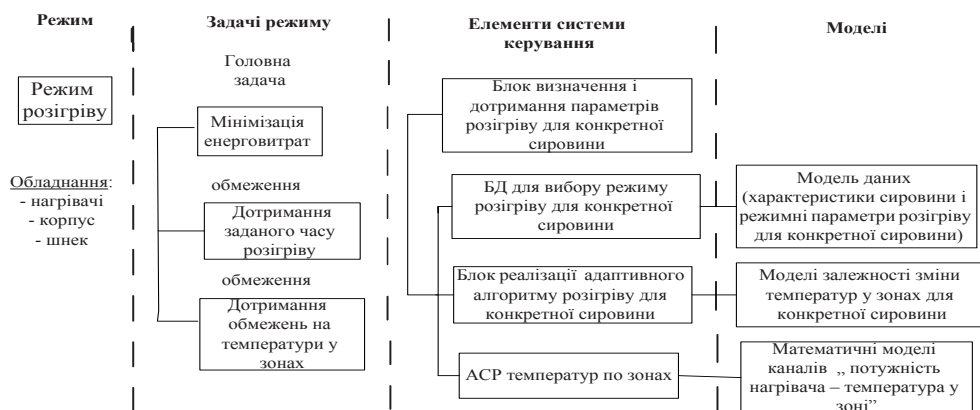


Рис. 2. Структурна схема задач системи керування та шляхів їх розв'язку для з режиму розігріву екструдера

**Пуск.** Після нагрівання починають завантаження сировини малими дозами, щоб запобігти «заклинюванню» шнека. Продукт, який починає виходити з екструдера – брак, що повертають на переробку. Поступово матеріал заповнює внутрішнє середовище, його розташування та властивості там невідомі. Це найбільш складний режим з точки зору керування. Задачею управління є виведення процесу на нормальний режим без забивання обладнання з мінімальною кількістю браку. Пуск завершено тоді, коли на виході отримують продукт, якість якого відповідає вимогам.

Операції, пов'язані з пуском, оператори виконують за певним, алгоритмом.

Результати кожної операції – випадкові події. Рішення оператор приймає на основі власного досвіду та інтуїції.

Структурна схема задач системи керування та шляхів їх розв'язку для режиму пуску екструдера наведена на рис. 3.

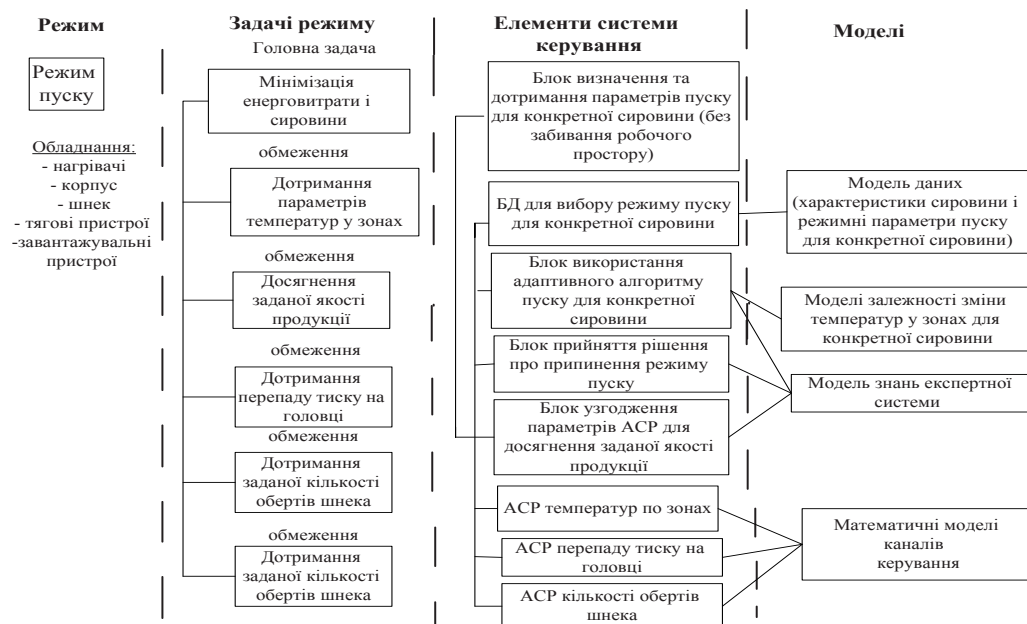


Рис. 3. Структурна схема задач системи керування та шляхів їх розв'язку для з режиму пуску екструдера

*Нормальне функціонування екструдера.* У цей період в апараті відбувається ущільнення сипких матеріалів; змішування компонентів; інтенсивна деформація матеріалу та зростання тиску, нагрівання матеріалу за рахунок енергії дисипації та зовнішніх джерел, хімічні, фазові та інші перетворення, обумовлені температурою та тиском; вилучення з матеріалів газоподібних та інших компонентів.

Задача управління для цього режиму співпадає з загальною задачею, яка зводиться до мінімізації економічних витрат (рис. 4).

Формалізуємо її таким чином:

$$K_{opt} = \sum_{i=1}^M C_i \cdot Q_i / G_{prod},$$

де  $\sum_{i=1}^M C_i \cdot Q_i$  – змінна частина витрат (енергії та сировини), яка залежить від режиму технологічного процесу на одиницю часу;  $C_i$  – собівартість енергії або сировини;  $Q_i$  – кількість витраченої

енергії або сировини на одиницю часу;  $M$  – кількість джерел витрат;  $G_{prod}$  – продуктивність лінії за готовою продукцією.

*Завершальний режим* роботи екструдера передуватиме зупинці апарату або зміні матеріалу. У цей період вимикають нагрівачі та збільшують кількість обертів шнеку для очищення екструдера. Він триває до повного виходу матеріалу з корпусу.

Задачею управління для цього режиму є мінімізація затрати енергії при повному виведенні матеріалу з корпусу та його охолодженні.

Ведення процесу екструзії може змінюватись безпосередньо під час нормального режиму роботи. Такі явища, наприклад, можуть бути пов'язані зі зміною гранулометричного складу матеріалу, який подається до екструдера та змінною енергією дисипації. Тому, важливим є оперативне прийняття рішення щодо зміни керування впливів.

Забезпечити такі вимоги може адаптивна система керування, яка буде пристосовуватись до зміни передбачуваним чином умов функціонування [2].

Крім цього, з метою контролю якості вихідної продукції, доцільно ввести в загальну структуру системи керування експертну систему та систему нечіткого виводу.



Рис. 4. Структурна схема задач системи керування та шляхів їх розв'язку для з режиму нормальної роботи екструдера



## 6. Висновки

Запропоновано алгоритм системного аналізу складних технологічних систем як об'єктів автоматичного керування. Показано застосування названого вище алгоритму для дослідження процесу екструзії та розробки системи керування ним.

З проведеного дослідження видно, що повний цикл процесу екструзії є складним технологічним проце-

сом який потребує синтезу системи керування досить складної структури. На різних етапах роботи система керування повинна забезпечувати виконання різних задач.

З метою підвищення ефективності роботи екструдера запропоновано синтезувати адаптивну систему керування з елементами штучного інтелекту. Така система дозволить знизити енерговитрати та підвищити якість готової продукції.

## Література

1. Ким, В.С. Теория и практика экструзии полимеров [Текст] / В.С. Ким. – М.: КОЛОСС, 2005. – 568 с.
2. Торнер, Р.В. Оборудование заводов по переработке пластмасс [Текст] / В.С. Ким, М.С. Акутин. – М.: Химия, 1986. – 400 с., ил.
3. Радченко, Л.Б. Основы моделирования и конструирования червячных экструдерів [Текст] / Л.Б. Радченко, В.І. Сівецький. – К.: Видавництво «Політехніка», 2002. – 152 с.
4. C.A. Schwartz, J.M. Berg, R. Chang, M. Mears. Neural-network control of an extrusion. 1995, Amer. Contr. Conf., pp. 1782-1786.
5. Rauwendaal C. // Advances in Polymer technology. 1989, V. 9. №4. pp. 331-336.
6. Rauwendaal C. Polymer extrusion. 2001, p. 788.
7. Jurkovic, M. Jurkovic, S. Buljan. Optimization of extrusion force prediction model using different techniques. Journal of Achievements in materials and manufacturing engineering. Vol. 17. 2006.
8. Neelam Shihani, B.K. Kumbhar, Manoj Kulshreshtha. Modeling of extrusion process using response surface methodology and artificial neural networks. Journal of engineering science and Technology. Vol. 1, No. 1(2006).
9. Tadmor Z., Gogos C. G. Principles of Polymer Processing. – Wiley – Interscience, 2006. – 961p.
10. Popescu, O., Popescu, D. C., Wilder, J., Karwe, M. V. A new approach to modeling and control of a food extrusion process using neural networks and expert system. – Journal of Food Process Engineering. – 2001, 24(1), pp. 17-36.

*У даній статті зроблено аналіз перехідних процесів в послідовному коливальному контурі, який використовується для запалювання ламп високої інтенсивності типу ДНаТ. Проведені дослідження показали, що в перехідному режимі напруга на резонансному підпалюючому конденсаторі може в кілька разів перевищувати напругу, що підводиться до контуру*

*Ключові слова: розрядна лампа, пускорегулюючі апарати, модель, розжарювання, баласт, пробій, електротехнічне обладнання*

*В данной статье сделан анализ переходных процессов в последовательном колебательном контуре, который используется для поджига ламп высокой интенсивности типа ДНаТ. Проведенные исследования показали, что в переходном режиме напряжение на резонансном поджигающем конденсаторе может в несколько раз превышать напряжение, подводимое к контуру*

*Ключевые слова: разрядная лампа, пускорегулирующий аппарат, модель, разгорание, балласт, пробой, электротехническое оборудование*

УДК 621.31

# АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ

**А. В. Сапрыка**

Кандидат технических наук, доцент  
Кафедра электроснабжения городов  
Харьковская национальная академия  
городского хозяйства

ул. Революции, 12, г. Харьков, Украина, 61002

E-mail: a\_sapryka@mail.ru

## 1. Введение

С изменением напряжения сети изменяются как электрические, так и световые характеристики ис-

точников света. Это связано с тем, что изменяется электрический режим горения лампы и температурные условия работы лампы. Особенности разрядных ламп (РЛ) являются: высокая светоотдача;